

УДК: 504.064.36:574

## ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО НОРМИРОВАНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ВОДНОЙ ЭКОСИСТЕМЫ (НА ПРИМЕРЕ УСТЬЕВОЙ ОБЛАСТИ РЕКИ ИЛЬД И РЫБИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА)\*

© 2016 г. Л.А. Кучай, Н.Г. Отюкова

*ФГБУН «Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина  
Российской академии наук», пос. Борок, Ярославская обл., Россия*

**Ключевые слова:** Рыбинское водохранилище, гидрохимические компоненты, оценка состояния, шкала Харрингтона, водная экосистема, нормирование, качество воды, экологический мониторинг, малые реки.

Представленная работа выполнена в рамках гидроэкологического исследования малых рек Волжского бассейна. Впервые за многолетний период мониторинга состояния Рыбинского водохранилища была поставлена задача оценки состояния притоков, несущих свои воды в водохранилище и формирующих качество его вод. Проанализированы многолетние данные наблюдения (2006–2010 гг.) гидрохимических и гидрофизических компонентов зоны свободного течения р. Ильд – одного из притоков Рыбинского водохранилища, трех зон устьевой области и ближайшей к месту впадения реки в водохранилище ст. Коприно Волжского плеса с целью оценки качества этих вод.

В работе использована функция желательности Харрингтона, которая в задачах оценки состояния экосистем конкретным значениям экологического параметра ставит в соответствие условные баллы экологического состояния системы (или качества вод). Функции желательности построены для железа, кислорода, перманганатной окисляемости, химического и биохимического потребления кислорода, макрокомпонентов солевого состава – магния, кальция, сульфатов, калия, хлора, натрия, щелочности, а также цветности и взвешенного вещества. С помощью этих функций сформированы таблицы нормированных значений компонентов. Получены интервалы значений компонентов (нормы) для лингвистических оценок шкалы Харрингтона (от «очень хорошо» до «очень плохо»), которые могут служить экспертной оценкой качества вод рассматриваемого притока.



Л.А. Кучай



Н.Г. Отюкова

\* Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 14-05-00346-а

Сформировавшаяся к началу 1970-х годов XX в. проблема оценки состояния природных экосистем связана с необходимостью иметь количественные оценки нагрузки на экосистему, превышение которых ведет к ее разрушению. С решением этого вопроса связаны задачи экологического нормирования, основным содержанием которых является поиск нормы состояния экосистемы по нормам ее компонентов [1]. Технология контроля природной среды складывается из экологического мониторинга и анализа полученных данных, на основе которых принимаются решения о перспективах практического использования экосистем. Анализ состоит из нескольких этапов, включающих, в частности, индикацию по биотическим показателям и экологическое нормирование с целью оценки состояния экосистемы [2].

Анализ и оценка состояния сложных систем, какой является экосистема, приводят к многокритериальным задачам, при решении которых используются методы нечеткой логики, а именно – функции желательности. В качестве одной из таких функций применяется функция желательности Харрингтона [3], которая в задачах оценки состояния экосистем конкретным значениям экологического параметра ставит в соответствие условные баллы экологического состояния системы (или качества вод) от «очень хорошо» до «очень плохо». Указанная функция используется при решении широчайшего круга задач в самых различных областях знания – от частных практических приложений до общих классификационных проблем географии, экономики, экологии и др.

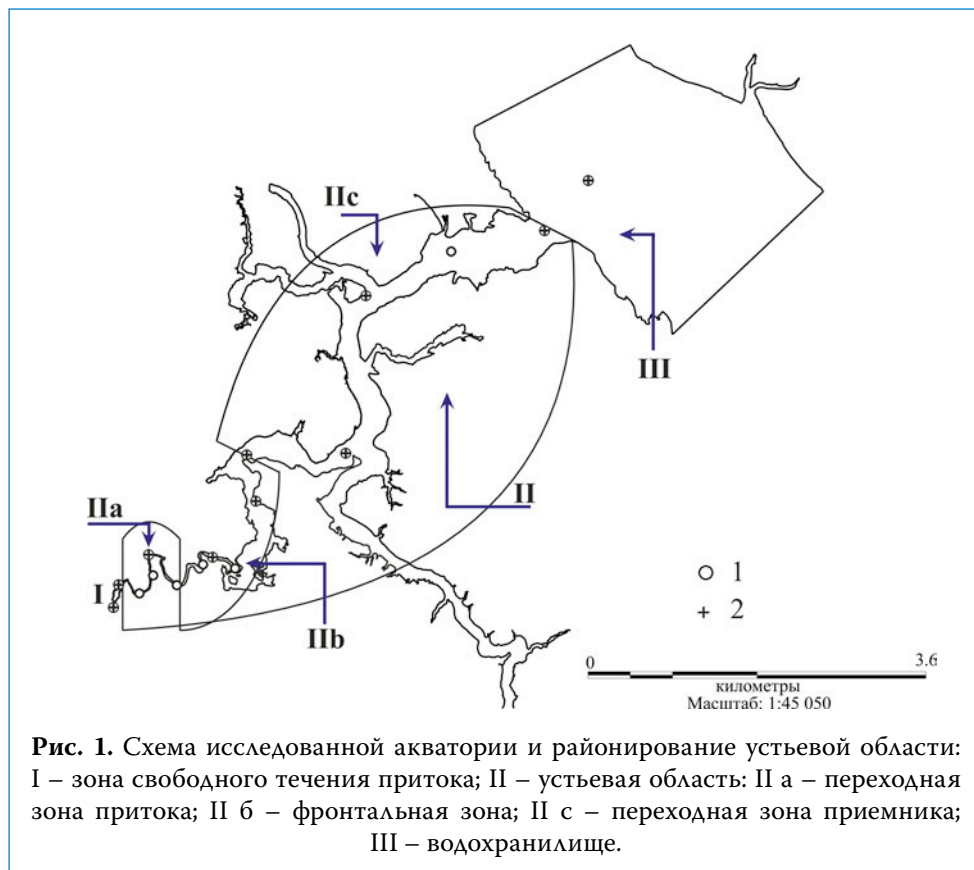
Цель данной работы – использование методов нормирования гидрохимических компонентов малой р. Ильд для оценки качества вод, поступающих в Волжский плес Рыбинского водохранилища. Устьевые области малых рек – притоков водохранилища – в силу их генезиса являются специфическими географическими объектами, поскольку основными гидрофизическими процессами здесь становится формирование фронтальной зоны раздела речных и озерных вод. В связи с постоянно увеличивающейся антропогенной деятельностью в речных бассейнах, приводящей к истощению водных ресурсов и ухудшению качества вод, вопросы изучения состояния малых рек и стока различных химических ингредиентов приобретают большое значение.

В данной работе решается задача построения функций желательности для гидрохимических и гидрофизических компонентов различных зон устья, представленных многолетними рядами наблюдений, с помощью которых определяются нормированные значения компонентов, являющихся, по сути, экспертной оценкой качества воды притока по гидрохимическим параметрам.

Качество воды Рыбинского водохранилища напрямую зависит от качества стока малых рек. Гидроэкологическое исследование притоков Рыбинского водохранилища в 2000-х годах стало приоритетным направлением в исследовательских планах ИБВВ РАН.

### МЕТОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА ДАННЫХ

Для нормирования компонентов экосистемы с целью приближенной оценки качества воды функция желательности была опробована при анализе данных наблюдения Рыбинского водохранилища [4]. В работе анализируются данные наблюдения по гидрохимическим и гидрофизическим компонентам устья р. Ильд (четырёх зон, рис. 1) и ближайшей к месту впадения р. Ильд станции Коприно Волжского плеса за период 2006–2010 гг. (февраль – ноябрь). Районирование устья реки было проведено в результате комплексных гидрологических, гидробиологических и гидрохимических исследований [5].



Река Ильд протекает по территории Некоузского района Ярославской области. Длина реки 46 км, площадь водосбора 240 км<sup>2</sup>. Большую часть водосборной площади составляют сельскохозяйственные угодья на месте еловых и смешанных лесов. Исток реки находится в заболоченном лесу к юго-востоку от д. Федосово, водосбор вытянут с юго-запада на северо-восток. В нижнем течении р. Ильд у д. Горки находится зона подпора водохранилища, в 11 км от места впадения р. Сутки в водохранилище. Ильд впадает в р. Сутка, образующую обширную устьевую зону [6].

По водному режиму р. Ильд относится к восточно-европейскому типу, характеризующемуся ярко выраженным весенним половодьем, летней и осенней низкой меженью, прерываемой иногда паводками, и зимней меженью [7]. Реку Ильд, как и большинство рек лесной зоны европейской части России, можно отнести к гидрокарбонатному классу кальциево-магниевого группы рек со средней минерализацией. При изменении минерализации воды в течение года и по длине реки сохраняются следующие соотношения между основными ионами:  $\text{HCO}_3^- > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+$ , т. е. нормальное функционирование экосистемы реки во многом определяется свойствами карбонатно-кальциевой системы. От состояния равновесия между ее элементами зависят такие важные процессы как фотосинтез, растворение и выпадение солей. Устойчивость устьевой воды к внешним воздействиям также является функцией элементов этой системы. Поэтому оценка состояния экосистемы, определяемая с помощью всевозможных индексов, учитывающая равновесие элементов солевого состава, может быть полезной при оценке качества воды. Так, к примеру, в основательно разработанном государственном стандарте Германии классификация качества вод производится по трем комплексам показателей, одним из которых является солевой состав [8].

В последние годы для оценки качества воды по гидрофизическим, гидрохимическим и гидробиологическим показателям используются различные виды функции желательности [2, 9, 10]. В данной работе применена функция и шкала Харрингтона (табл. 1), в которой границами классов служат точки перегиба функции желательности Харрингтона, имеющие ординаты 0,8; 0,63; 0,37; 0,2. К ним необходимо добавить еще две характерные точки – точки минимума и максимума функции, при этом точка максимума является естественной точкой перегиба при ординате 1,0. Вместе точки задают стандартные отметки на шкале желательности Харрингтона [3]: «очень хорошо» (1,00–0,80), «хорошо» (0,80–0,63), «удовлетворительно» (0,63–0,37), «плохо» (0,37–0,20), «очень плохо» (0,20–0,00). Таким образом, точки перегиба функции принимаются за границы классов.

Функция желательности Харрингтона имеет вид:

$$G(x) = \exp(-Z^2(x)), \quad (1)$$

где  $Z(x) = (2x-a-b)/(b-a)$ ,  $a$  и  $b$  – соответственно левая и правая границы диапазона желательности, выбираемые различным образом. Здесь  $X = \{x_i\}$ , ряд наблюдений рассматриваемого компонента,  $i = 1, 2, \dots, n$ , где  $n$  – число членов ряда.

Для конкретного водоема задача выбора двусторонних границ его компонентов может быть решена, если принять за наиболее предпочтительные величины этих компонентов среднеарифметические значения рядов многолетних наблюдений и установить границы благополучия с помощью среднеквадратического отклонения [4].

**Таблица 1.** Шкала Харрингтона  
(третий столбец – дополнение Бикбулатова [4])

Оценка интервалов	Интервалы значений функции желательности	Оценка качества воды
Очень хорошо	1,00–0,80	Хорошее
Хорошо	0,80–0,63	
Удовлетворительно	0,63–0,37	Среднее
Плохо	0,37–0,20	Плохое
Очень плохо	0,20–0,00	

Алгоритм нормирования компонента экосистемы, представленного рядом наблюдений  $X = \{X_i\}$  ( $i = 1, 2, 3, \dots, n$ ), представляет следующую последовательность действий:

- вычисление среднего ряда  $X_{cp}$  и среднеквадратического отклонения  $\sigma$ :

$$X_{cp} = \sum X_i / n, \quad \sigma = (\sum (X_i - X_{cp})^2) / n;$$

- определение величин левой и правой границ функции Харрингтона

$$a = X_{cp} - \sigma, \quad b = X_{cp} + \sigma;$$

– расчет значений функции Харрингтона по формуле (1), для примера на рис. 2 приведена функция желательности Харрингтона для компонента  $\text{HCO}_3$  зоны свободного течения устья р. Ильд;

– согласно шкале Харрингтона для данного участка устья реки получаем (снимаем с графика) интервалы значения  $\text{HCO}_3$ , полученные данные представлены в табл. 2.

Отметим, что предлагаемый выбор границ функции желательности предполагает нормальное распределение рассматриваемых гидрохимических характеристик, которые не всегда отвечают этому условию [11]. Поэтому, используя нормирование гидрохимических компонентов подобным образом, следует иметь в виду, что полученные результаты являются лишь некоторым приближением к оценке качества воды исследуемого водоема.

В настоящей работе функции желательности построены по данным четырех зон устья р. Ильд и ст. Коприно Волжского плеса (рис. 1) для следующих компонентов рассматриваемой экосистемы:

– гидрохимических: железа ( $\text{Fe}_{\text{общ}}$ ,  $\text{Fe}_{\text{раств}}$ , мг/л), кислорода ( $\text{O}_2$ , мг/л), перманганатной окисляемости (ПО, мг/л), химического и биохимического потребления кислорода (ХПК и БПК<sub>5</sub>, мг/л), в т. ч. макрокомпонентов солевого состава – магния (Mg, мг/л), кальция (Ca, мг/л), сульфатов ( $\text{SO}_4$ , мг/л), калия (K, мг/л), хлора (Cl, мг/л), натрия (Na, мг/л), щелочности ( $\text{HCO}_3$ , мг/л);

– гидрофизических: цветности (град), взвешенного вещества (мг/л).

Для них сформированы таблицы нормированных значений (табл. 2–7).

Заметим, что, сопоставляя вновь полученные данные наблюдений компонентов устья притока год от года, можно определить, в каком направлении изменяется экосистема. Кроме того, для оценки экологической ситуации водоема можно рассчитать обобщенную желательность [2]:

$$D = (d_1 \cdot d_2 \cdot \dots \cdot d_n)^{1/m},$$

где  $d_i$  – желательность  $i$ -го компонента, а  $m$  – число компонентов, использованных для расчета (обозначение  $D$  образовано по первой букве английского desirable – желательность). Очевидно, что эта величина входит в интервал (0–1) шкалы Харрингтона. Располагая на этой шкале рассчитанные значения  $D$  различных водных экосистем, можно сравнивать их состояния.

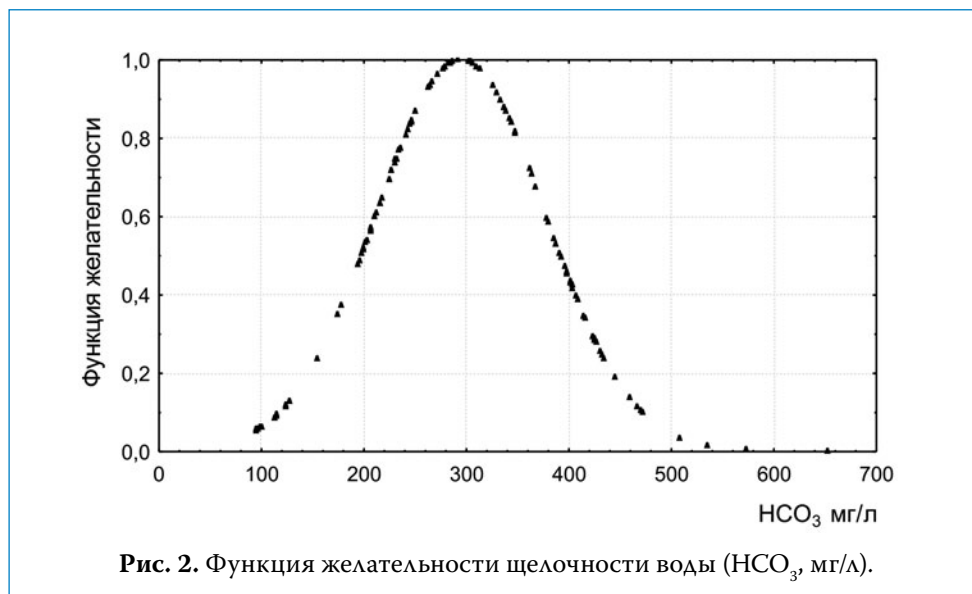
Для выбранных компонентов солевого состава вод можно сравнить состояние разных участков устья р. Ильд и водохранилища. Общая тенденция для всех абсолютных значений солевого состава и минерализации – снижение от участка свободного течения к водохранилищу, что нельзя сказать о величинах относительных. Главными ионами, определяющими со-

став и минерализацию воды р. Ильд, являются гидрокарбонат-ионы, ионы кальция и магния. От участка свободного течения до водохранилища в устьевой области наблюдается перераспределение долей главных ионов: незначительное уменьшение доли гидрокарбонатов ( $\text{HCO}_3^-$ ), магния ( $\text{Mg}^{2+}$ ), суммы ионов натрия и калия ( $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ ) за счет увеличения доли сульфатов ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), хлоридов ( $\text{Cl}^-$ ) и кальция ( $\text{Ca}^{2+}$ ).

В табл. 8 представлены нормированные значения компонентов солевого состава вод оценки «очень хорошо» для четырех зон устья и ст. Коприно Рыбинского водохранилища. Очевидна тенденция сокращения концентраций от зоны свободного течения к водохранилищу. Чрезвычайно важно изменение значений компонентов от зоны свободного течения к фронтальной зоне, формирование которой отражает взаимодействие речной и водных масс водохранилища со свойственными им значениями гидрофизических и гидрохимических показателей.

Анализ таблиц нормированных значений выбранных компонентов продолжается. Определены основные направления дальнейшей работы:

- анализ динамики нормированных значений химических компонентов от зоны свободного течения к водохранилищу по всем трем уровням;
- разработка модели переноса вещества течением;
- выявление особенностей фронтальной зоны;
- комплексное исследование зон устья р. Ильд, учитывающее данные наблюдений гидробиологов.





**Таблица 2.** Нормированные значения компонентов солевого состава воды устья р. Илья (зона свободного течения), мг/л

Оценка по шкале Харрингтона	Интервал значений функции желательности	HCO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>	CL	Ca	Mg	Na	K	Σ ионов
Очень хорошо	1,0–0,8	260–365	5,1–8,9	5,7–8,4	51,0–73,3	18,1 – 25,8	7,9 – 11,6	2,0 – 3,0	345 – 492
Хорошо	0,8–0,63	232–260	4,4–5,1	5,1–5,7	47,3–51,0	16,6 – 18,1	7,3 – 7,9	1,8 – 2,0	313 – 345
Удовлетворительно	0,63–0,37	365–390	8,9–9,4	8,4–9,0	73,3–77,8	25,8 – 27,6	11,6 – 12,5	3,0 – 3,3	492 – 527
Плохо	0,37–0,2	194–232	3,4–4,4	4,2–5,1	39,0–47,3	14,1 – 16,6	5,9 – 7,3	1,5 – 1,8	266 – 313
Очень плохо	0,2–0	390–426	9,4–10,6	9,0–9,7	77,8–85,2	27,6 – 30,4	12,5 – 13,7	3,3 – 3,5	527 – 575
		154–194	2,8–3,4	3,4–4,2	31,9–39,09	11,5 – 14,1	4,9 – 5,9	1,2 – 1,5	227 – 266
		426–458	10,6–12,2	9,7–10,9	85,3–91,6	30,6 – 32,5	13,7 – 14,8	3,5 – 3,8	575 – 616
		< 154	< 2,8	< 3,4	< 31,9	< 11,5	< 4,9	< 1,2	< 227
		> 458	> 12,2	> 10,9	> 91,6	> 32,5	> 14,8	> 3,8	> 616

**Таблица 3.** Нормированные значения гидрохимических компонентов воды устья р. Илья (зона свободного течения), мг/л

Оценка по шкале Харрингтона	Интервал значений функции желательности	ПО	БПК <sub>5</sub>	ХПК	Fe <sub>общ</sub>	Fe <sub>раств</sub>	Взвешенные вещества
Очень хорошо	1,0–0,8	8,4–16,0	0,9–1,7	19,8–34,5	0,35–0,66	0,13–0,38	7,6–13,4
Хорошо	0,8–0,63	6,8–8,4	0,7–0,9	16,4–19,8	0,29–0,35	0,08–0,13	6,3–7,6
Удовлетворительно	0,63–0,37	16,0–17,4	1,7–1,9	34,5–36,6	0,66–0,73	0,38–0,41	13,4–15,0
Плохо	0,37–0,2	4,5–6,8	0,4–0,7	12,0–16,4	0,19–0,29	0,02–0,08	4,3–6,3
Очень плохо	0,2–0	17,4–20,0	1,9–2,2	36,6–41,4	0,73–0,84	0,41–0,50	15,0–16,6
		2,4–4,5	2,2–2,4	7,37–12,0	0,10–0,19	0,50–0,55	2,9–4,3
		20,0–22,0	< 0,4	41,4–45,6	0,84–0,92	< 0,02	16,6–18,5
		< 2,4	> 2,4	< 7,4	< 0,1	> 0,55	< 2,9
		> 22,0		> 45,6	> 0,92		> 18,5



**Таблица 4.** Нормированные значения компонентов солевого состава воды р. Илья (фронтальная зона, поверхность), мг/л

Оценка по шкале Харрингтона	Интервал значений функции желательности	HCO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>	CL	Ca	Mg	Na	K	Σ ионов
Очень хорошо	1,0–0,8	179 – 252	5,1 – 8,3	4,1 – 6,8	37,8 – 52,0	12,3 – 17,5	5,0 – 7,8	1,9 – 2,7	246 – 347
Хорошо	0,8–0,63	164 – 179	4,4 – 5,1	3,7 – 4,2	35,1 – 37,8	11,2 – 12,3	4,6 – 5,0	1,8 – 1,9	225 – 246
Удовлетворительно	0,63–0,37	252 – 267	8,3 – 9,0	6,87 – 7,5	52,0 – 55,0	17,5 – 18,6	7,8 – 8,4	2,7 – 2,9	347 – 367
Плохо	0,37–0,2	140 – 164	3,2 – 4,2	2,7 – 3,6	30,1 – 35,1	9,5 – 11,2	3,7 – 4,6	1,5 – 1,8	194 – 225
		267 – 290	9,0 – 10,0	7,5 – 8,4	55,0 – 59,9	18,6 – 20,4	8,4 – 9,3	2,9 – 3,2	367 – 400
Очень плохо	0,2–0	120 – 140	2,2 – 3,2	1,9 – 2,7	26,0 – 30,1	7,9 – 9,5	3,0 – 3,7	1,3 – 1,5	168 – 194
		290 – 312	10,0 – 10,9	8,4 – 9,1	59,9 – 63,9	20,4 – 21,9	9,3 – 10,1	3,2 – 3,4	400 – 427
		< 120	< 2,2	< 1,9	< 6,0	< 7,9	< 3,0	< 1,3	< 168
		> 312	> 10,9	> 9,1	> 63,9	> 21,9	> 10,1	> 3,4	> 427

**Таблица 5.** Нормированные значения гидрохимических компонентов р. Илья (фронтальная зона, поверхностный слой), мг/л

Оценка по шкале Харрингтона	Интервал значений функции желательности	Fe	ПО	ХПК	Цветность град.	Взвешенные вещества
Очень хорошо	1 – 0,8	0,36 – 0,57	13,2 – 18,4	31,9 – 43,6	64 – 138	12,6 – 21,7
Хорошо	0,8 – 0,67	0,32 – 0,36	12,2 – 13,2	29,5 – 31,9	48 – 64	10,0 – 12,6
Удовлетворительно	0,67 – 0,37	0,57 – 0,61	18,4 – 19,5	43,6 – 46,5	138 – 155	21,7 – 23,9
		0,24 – 0,32	10,4 – 12,2	25,2 – 29,5	24 – 48	7,2 – 10,0
Плохо	0,37 – 0,2	0,61 – 0,67	19,5 – 21,2	46,5 – 50,5	155 – 178	23,9 – 26,7
		0,19 – 0,24	8,9 – 10,4	22,1 – 25,2	14 – 24	4,6 – 7,2
Очень плохо	0,2 – 0	0,67 – 0,74	21,2 – 22,7	50,5 – 53,7	178 – 200	26,7 – 29,7
		< 0,19	< 8,9	< 22,1	< 14,4	< 4,6
		> 0,74	> 22,7	> 53,7	> 200	> 29,7

**Таблица 6.** Нормированные значения компонентов солевого состава воды Рыбинского водохранилища (ст. Коприно), мг/л

Оценка	Интервал значений функции желательности	HCO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>	Cl	Ca	Mg	Na	K	Σ ионов
Очень хорошо	1,0 – 0,8	117 – 146	6,9 – 10,1	3,8 – 5,0	29,1 – 34,8	6,9 – 8,7	3,3 – 4,4	1,5 – 1,9	171 – 209
Хорошо	0,8 – 0,6	112 – 117	6,2 – 6,9	3,5 – 3,8	27,8 – 29,1	6,5 – 6,9	3,0 – 3,3	1,4 – 1,5	162 – 171
Удовлетв.	0,6 – 0,4	146 – 152	10,1 – 10,7	5,0 – 5,3	34,8 – 35,9	8,7 – 9,1	4,4 – 4,6	1,9 – 2,0	209 – 217
Плохо	0,4 – 0,2	101 – 112	5,2 – 6,2	3,0 – 3,5	25,6 – 27,8	6,0 – 6,5	2,6 – 3,0	1,3 – 1,4	105 – 162
Очень плохо	0,2 – 0	152 – 160	10,7 – 11,7	5,3 – 5,8	35,9 – 38,4	9,1 – 9,7	4,6 – 5,1	2,0 – 2,1	217 – 229
		95 – 101	4,3 – 5,2	2,6 – 3,0	23,3 – 25,6	5,5 – 6,0	2,3 – 2,6	1,2 – 1,3	140 – 151
		160 – 171	11,7 – 12,6	5,8 – 6,2	38,4 – 40,0	9,7 – 10,2	5,1 – 5,6	2,1 – 2,2	229 – 240
		< 95	< 4,3	< 2,6	< 23,3	< 5,5	< 2,3	< 1,2	< 140
		> 171	> 12,6	> 6,2	> 40,0	> 10,2	> 5,6	> 2,2	> 240

**Таблица 7.** Нормированные значения гидрохимических компонентов р. Илья (ст. Коприно)

Оценка	Интервал значений функции желательности	ПО	ХПК	БПК <sub>5</sub>	Взвешенные вещества	O <sub>2</sub>	Fe <sub>общ</sub> поверхностный слой	Цветность град.
Очень хорошо	1,0 – 0,8	26,1 – 34,2	1,1 – 2,2	0,17 – 0,25	9,2 – 14,6	10,7 – 14,3	0,08 – 0,15	76 – 93
Хорошо	0,8 – 0,63	24,0 – 26,1	0,9 – 1,1	0,15 – 0,17	8,1 – 9,2	9,8 – 10,7	0,07 – 0,08	72 – 76
Удовлетв.	0,63 – 0,37	34,2 – 36,2	2,2 – 2,4	0,25 – 0,26	14,6 – 15,6	14,3 – 15	0,15 – 0,16	93 – 97
Плохо	0,37 – 0,2	21,2 – 24,0	0,5 – 0,9	0,13 – 0,15	6,2 – 8,1	8,6 – 9,8	0,04 – 0,07	67 – 72
Очень плохо	0,2 – 0	36,2 – 39,5	2,4 – 2,7	0,26 – 0,28	15,6 – 17,8	15,0 – 16,2	0,16 – 0,2	97 – 103
		18,8 – 21,2	2,7 – 3,0	0,28 – 0,3	4,9 – 6,2	7,1 – 8,6	0,02 – 0,04	62 – 67
		39,5 – 41,7	< 0,5	< 0,13	17,8 – 18,9	16,2 – 17,3	0,2 – 0,22	103 – 110
		< 18,8	> 3,0	> 0,3	< 4,9	< 7,1	< 0,02	< 62
		> 41,7			> 18,9	> 17,3	> 0,22	> 110

**Таблица 8.** Нормированные значения компонентов солевого состава вод оценки «очень хорошо» для четырех зон устья р. Ильд и ст. Коприно Рыбинского водохранилища, мг/л

Оценка	Зона	HCO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>	Cl	Ca	Mg	Na	K	Σ ионов
Очень хорошо	I	260 – 365	5,0 – 8,9	5,7 – 8,4	51 – 73	18 – 26	7,9 – 11,6	2,0 – 3,0	345 – 492
	II а	240 – 351	4,7 – 7,9	4,6 – 7,4	47 – 70	16,4 – 24,4	6,8 – 10,8	2,0 – 3,0	321 – 469
	II б	179 – 252	5,0 – 8,3	4,0 – 6,8	38 – 52	12,3 – 17,5	5,0 – 7,8	1,9 – 2,7	246 – 347
	II с	145 – 194	7,0 – 11,0	4,0 – 6,0	32 – 42	9,9 – 13,4	4,5 – 6,7	1,7 – 2,2	206 – 274
	Ст. Коприно	117 – 146	6,8 – 10,0	3,8 – 5,0	29 – 35	6,9 – 8,7	3,3 – 4,4	1,5 – 1,9	171 – 209

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Впервые при исследовании состояния экосистемы Рыбинского водохранилища и оценки качества его вод произведена оценка качества воды одного из крупных притоков Волжского плеса за многолетний период. В рамках заявленной задачи исследования были сформированы таблицы нормированных значений гидрохимических и гидрофизических компонентов четырех зон устья р. Ильд – зоны свободного течения (собственно река), фронтальной зоны (зоны раздела речных и озерных вод), переходной зоны и станции Волжского плеса (собственно водохранилище). Для этого использованы функции желательности Харрингтона, которые построены для железа, кислорода, перманганатной окисляемости, химического и биохимического потребления кислорода, макрокомпонентов солевого состава – магния, кальция, сульфатов, калия, хлора, натрия, щелочности, а также цветности и взвешенного вещества. Получены интервалы значений компонентов (нормы) для лингвистических оценок шкалы Харрингтона (от «очень хорошо» до «очень плохо»), которые могут служить экспертной оценкой качества вод рассматриваемого притока. Использованы данные трех уровней глубины, в статье приведены таблицы нормированных значений компонентов только поверхностного уровня.

Определены основные направления дальнейшей работы: анализ динамики нормированных значений химических компонентов от зоны свободного течения к водохранилищу по всем трем уровням; разработка модели переноса вещества течением; выявление особенностей фронтальной зоны; комплексное исследование зон устья р. Ильд, учитывающее данные наблюдений гидробиологов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. М.: Наука, 1976. 280 с.
2. Левич А.П., Булгаков Н.Г., Максимов В.Н. Теоретические и методологические технологии регионального контроля природной среды по данным экологического мониторинга. М.: НИА-Природа, 2004. 273 с.
3. Harington E.C. The desirability Function. *Industrial Control*. 1965, 21, 10. P. 494–498.
4. Бикбулатов Э.С., Степанова И.Э., Бикбулатова Е.М. Дифференциальные экологические нормы для биогенных элементов и органического вещества Рыбинского водохранилища // *Современные проблемы гидрохимии и формирования качества вод*. Р.-на-Д.: Виразж, 2010. С. 191–194.
5. Крылов А.В., Цветков А.И., Малин М.И., Романенко А.В., Поддубный С.А., Отюкова Н.Г. Сообщества гидробионтов и физико-химические параметры устьевой области притока равнинного водохранилища // *Биология внутр. вод*. 2010. № 1. С. 65–75.
6. Рохмистров В.А. Малые реки Ярославского Поволжья. Ярославль: ВВО РЭА, 2004. 54 с.
7. Отюкова Н.Г. Некоторые аспекты гидрохимического режима малой реки в условиях зоогенного нарушения // *Водные ресурсы*. 2009. Т. 36. № 5. С. 633–638.
8. DDR. TGL 22764/01, «Gewässerschutz. Klassifizierung der Wasserbeschaffenheit von Fließgewässern», 1973.
9. Гелашвили Д.Б., Карандашова А.А. Принципы экологического нормирования антропогенной нагрузки на лотические экосистемы по показателям макрозообентоса // *Известия Самар. науч. центра РАН*. 2002. Т. 2. № 4. С. 252–254.
10. Дмитриев В.В., Фрумин Г.Т. Экологическое нормирование и устойчивость природных систем. СПб.: Наука, 2004. 295 с.
11. Лепихин А.П., Возняк А.А. Статистические функции распределения гидрохимических показателей качества воды поверхностных водных объектов // *Водное хозяйство России*. 2012. № 4. С. 21–32.

**Сведения об авторах:**

Кучай Людмила Алексеевна, научный сотрудник, лаборатория гидрологии и гидрохимии, ФГБУН «Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина Российской академии наук», Россия, 152742, пос. Борок, Некоузский р-н, Ярославская обл.; e-mail: lak@ibiw.yaroslavl.ru

Отюкова Наталия Геннадьевна, научный сотрудник, лаборатория гидрологии и гидрохимии, ФГБУН «Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина Российской академии наук», Россия, 152742, пос. Борок, Некоузский р-н, Ярославская обл.; e-mail: ong@ibiw.yaroslavl.ru